CFD

(Propulsión Aeroespacial 2012-13)

Temario, ... 2
Bibliografía, ... 6
Parcial CFD, ... 10

1) Temario

1. Introducción al CFD (1h)		
1.1 Breve historia de CFD 1.2 Campos de aplicación: éxitos y limitaciones 1.3 Perspectivas futuras	Theofilis 1hora 2 Abril	**1.1**
2. Ecuaciones de la Mecánica de Fluidos (3h)		
2.1 Revisión matemática: Introducción a Ecuaciones en Derivadas Parciales 2.2 Clasificación de EDPs: Hiperbólicas, Parabólicas, Elípticas. Condiciones de contorno pertinentes para cada clase. Los conceptos de "transporte" y "difusión". La velocidad de sonido: finita (hiperbólicas) vs. infinita (elípticas). Implicaciones para las condiciones de contorno	Theofilis 1hora 2 Abril	**1.2**
2.3 Las ecuaciones de Navier-Stokes compresibles 2.4 Casos límite de las ecuaciones: Flujo incompresible, flujo potencial, capa límite 2.5 Derivación de 3 ecuaciones tipo: Calor, Ondas, Laplace	Theofilis 1hora 4 Abril	**2.1**
2.6 Flujo laminar y turbulento, DNS 2.7 Modelización de la Turbulencia: Las ecuaciones LES, DES, URANS, RANS	Theofilis 1hora 4 Abril	**2.2**
3. Trabajando con el ordenador (1h)		
3.1 El ordenador como herramienta para resolver problemas matemáticos. (Ferziger págs 21-23) 3.2 Representación de números. (Hamming págs 19-40, Rivas págs 1-7) Representación y aritmética de punto flotante. Round off error o error de redondeo. 3.3 Introducción a los lenguajes de programación. 3.4 Arquitectura del ordenador. (Hennessy págs 2-55, 288-310, 358-366, Stallings pág 9-15, 66, 305-344) Procesador. Memoria. Redes. 3.5 Introducción al cálculo en paralelo. (Pacheco págs 1-56) ¿Cuándo es necesario? Paradigmas de programación en paralelo.	Lozano 1hora 9 Abril	**3.1**
4. Mallado (1h)		
4.1 Ideas generales de la discretización temporal. (Lambert págs 21-39) 4.2 Ideas generales de la discretización espacial. (Tannehil págs 679-712, Ferziger págs 26-29) Clasificación de métodos de discretización espacial. Clasificación de mallas. Generación de mallas.	Lozano 1hora 9 Abril	**3.2**
5. Introducción a OpenFoam (4h)		
5.1 Solver incompresible (icoFoam) 5.2 Herramienta de mallado (blockMesh) 5.3 Visualización (paraview)	Le Clainche 1hora 11 Abril	**4.1**
5.4 Problema 5.4.1 Lid Driven Cavity (Re=10, 100, 1000)	Le Clainche 1hora 11 Abril	**4.2**

5.5 Problema 5.5.1 Cilindro (Re=30, 150, 300) 5.6 Modelos de turbulencia RANS	Le Clainche 1hora 16 Abril	**5.1**
5.7 Solver compresible (sonicFoam) 5.8 Utilidades de postproceso con OpenFoam 5.9 Problema 5.9.1: Forward Facing Step (Re=430, Ma=3) 5.10 Problema en casa: NACA-0015 (Re=1000, Ma=0.7)	Le Clainche 1hora 16 Abril	**5.2**
6. Discretización temporal (4h)		
6.1 Problema de condiciones iniciales. (Moin págs 43-92, Hernández págs 1-3) 6.2 Obtención de esquemas numéricos. (Hernández págs 3-5, Ferziger págs 135-152) Cuadratura numérica Diferenciación numérica. 6.3 Clasificación de los métodos numéricos. (Hernández págs 5-16 , Ferziger págs 135-152) Explícitos, implícitos. Unipaso, multipaso. 6.4 Errores. (Hernández págs 59-75, Lambert págs 56-62) Truncación. Round off. Condiciones iniciales.	Lozano 1hora 18 Abril	**6.1**
6.5 Obtención de esquemas: Euler (forward/backward), Runge-Kutta, Crank-Nicolson... 6.6 Aplicación de los esquemas anteriores. Discretización del término temporal de las ecuaciones tipo. Ejemplos varios.	Lozano 1hora 18 Abril	**6.2**
6.7 Análisis numérico (Moin págs 43-92, Hernández págs 25-51, Lambert págs 213-254) Existencia, unicidad y estabilidad de la ecuación diferencial. Consistencia, estabilidad, convergencia del esquema numérico. Región de estabilidad. Soluciones espúreas.	Lozano 1hora 23 Abril	**7.1**
6.8 Análisis numérico de los esquemas estudiados en 6.6.	Lozano 1hora 23 Abril	**7.2**
7. Discretización espacial – Diferencias Finitas (6h)		
7.1 Ecuaciones hiperbólicas, parabólicas y elípticas 7.2 Esquemas de diferencias finitas	Le Clainche 1 hora 25 Abril	**8.1**
7.3 Problema 7.3.1 Ecuación de Poisson	Le Clainche 1 hora 25 Abril	**8.2**
7.4 Condición CFL 7.5 Error de dispersión y error de disipación	Le Clainche 1 hora 30 Abril	**9.1**
7.6 Concepto de Upwinding y la ecuación de ondas ondas.	Le Clainche	**9.2**

	1 hora 30 Abril	
7.7 Las NSE incompresibles. La ecuación de Poisson para la presión 7.8 Problemas 7.8.1 Ecuación del calor 7.8.2 Ecuación convección-difusión	Le Clainche 1 hora 7 Mayo	**10.1**
7.9.1 Ecuación de ondas en variables conservativas. Condición de Rankine Hygoniot 7.9.2 Ecuación de Burgers 7.9.3 EJERCICIO: Ecuación de Burgers no viscosa	Le Clainche 1 hora 7 Mayo 7 Mayo	**10.2**
8. Discretización Espacial – Volúmenes Finitos (6h)		
8.1 Formulación integral y carácter conservativo	Pérez 1 hora 9 Mayo	**11.1**
8.2 Esquema de discretización 1D 8.2.1 Discretización del dominio 8.2.2 Discretización de las integrales (flujos) 8.2.3 Teorema de Valor Medio (variables) 8.2.4 Problemas estacionarios 8.2.4.1 Difusión del calor sobre una barra (1D) 8.2.4.2 Difusión del calor sobre una barra (1D) con fuente de calor uniforme 8.2.4.3 Difusión del calor sobre una barra (1D) con fuente de calor en un extremo 8.2.5 Problema no-estacionario 8.2.5.1 Difusión del calor sobre una barra (1D) con fuente de calor uniforme	Pérez 1 hora 9 Mayo	**11.2**
8.2.5.2 Esquema de discretización 2D 8.3 Mallas: estructurada (cartesiana), no-estructurada	Pérez ½ hora 14 Mayo	**12.1**
8.4 La necesidad de “upwinding” 8.4.1 Derivada 1ª 8.4.2 Orden: 1º y 2º 8.4.3 Problemas estacionarios 8.4.3.1 Problema de difusión – convección 1D con esquemas central y upwinding	Pérez 1½ hora 14 Mayo	**12.2**
8.5 Convección y Shock Capturing 8.6 Upwinding 8.7 Reconstrucción 8.8 sistemas Roe	Hermanns 1 hora 16 Mayo	**13.1**
8.9 Aplicación a las ecuaciones tipo	Hermanns 1 hora 16 Mayo	**13.2**
9. Discretización Espacial – Elementos Finitos (1h)		
9.1 Aplicación de FEM 9.1.1 Formulación de elementos finitos 9.1.2 Ejemplo: ecuación de Poisson	González 1 hora 21 Mayo	**14.1**

10. Métodos Sin Malla (1h)		
10.1 Métodos Lagrangianos vs. Métodos Eulerianos 10.2 Meshless methods	González 1 hora 21 Mayo	**14.1**
11. Métodos Aerodinámicos Rápidos y sus Limitaciones (1h)		
Aplicaciones Industriales: Alas fijos y rotatorios, palas de aerogeneradores 11.1 Método de vórtices 11.2 Boundary Element Methods 11.3 Método de paneles – xFoil	Pérez 1 hora 23 Mayo	**15.1**
12. Métodos de Alto Orden (1h)		
Investigación (DNS, LES, CAA) 12.1 Diferencias finitas alto orden (compactas) 12.2 Métodos espectrales: Colocación Fourier, Chebyshev y Legendre 12.3 Elementos espectrales	Pérez 1 hora 23 Mayo	**15.2**

2) Bibliografía

Temas 3, 4, 6

[Hamming] Richard W. Hamming.
Numerical Methods for Scientists and Engineers.
Dover Publications. 1987.

[Patterson] John L. Hennessy and David A. Patterson.
Computer Architecture, Fifth Edition: A Quantitative Approach.
Morgan Kaufmann. 2007.

[Pacheco] Peter Pacheco.
An Introduction to Parallel Programming.
Morgan Kaufmann. 2011.

[Stallings] William Stallings.
Computer Organization and Architecture. 9th Edition.
Prentice Hall. 2012.

[Moin] P. Moin
Fundamentals of Engineering Numerical Analysis.
Cambridge University Press. 2010.

[Hernandez] Juan A. Hernández
Cálculo numérico en ecuaciones diferenciales ordinarias.
Aula Documental de Investigación. 2000.

[Tannehill] J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher.
Computational fluid mechanics and heat transfer.
Taylor & Francis. 1997.

[Ferziger] J. H. Ferziger and M. Peri\'c.
Computational methods for fluid dynamics.
Springer. 2002.

[Lambert] J.D. Lambert.
Numerical Methods for Ordinary Differential Systems.

John Wiley & Sons Ltd. 1991.

Tema 5

Manual de usuario OpenFOAM

Tema 7

Clase 7.1:

- Clasificación EDP: ecuaciones hiperbólicas, parabólicas y elípticas
- Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences, p22-24
- Esquemas de diferencias finitas
    - "Computational Aeroacoustics and its applications", M. Zhuang & C. Ritcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences, p12-16
    - "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, p22-24
    - "Computational Fluid Dynamics. The basics applications", J. D. Anderson, JR., McGrau-Hill Series in Mechanical Engineering, p128-143

EJEMPLO:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y}{\partial x} = 16x(2x^2 - 1) \\ y(1) = 0 \\ -1 \le x \le 1 \end{cases}$$

- Ecuación de Poisson. PROBLEMA 7.3.1:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f \\ 0 \le x \le 1 \\ 0 \le y \le 1 \\ u(0,y) = u(1,y) = u(x,1) = 0 \\ \dfrac{\partial u(x, y=0)}{\partial n} = 0 \end{cases}$$

Clase 7.2:

- Condición CFL
    - "Computational Fluid Dynamics. The basics applications", J. D. Anderson, JR., McGrau-Hill Series in Mechanical Engineering, p161-165
- Errores dispersion y disipación
    - "Computational Fluid Dynamics. The basics applications", J. D. Anderson, JR., McGrau-Hill Series in Mechanical Engineering, p232-238

- Concepto de upwinding y la ecuación de ondas: estabilidad del esquema numérico
    - "Computational Fluid Dynamics. The basics applications", J. D. Anderson, JR., McGrau-Hill Series in Mechanical Engineering, p153-161
    - "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences, p102
- Esquema upwind: "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences, p103
- Esquema Leap-Frog: "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences, p116
- Esquema Lax-Wendrof: "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences, p117
- Esquema Runge Kutta: "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences, p124
- Ecuación del calor: "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences, p126

Clase 7.3:

- Problemas con la presión en Navier-Stokes incompressible
    - "Computational Fluid Dynamics. The basics applications", J. D. Anderson, JR., McGrau-Hill Series in Mechanical Engineering, p247-264
    - PROBLEMAS:
- Ecuación del calor: "Computational Fluid Dynamics. The basics applications", J. D. Anderson, JR., McGrau-Hill Series in Mechanical Engineering, p146-153

PROBLEMA 7.8.1 $\begin{cases} \alpha \dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \\ 0 \le x \le 1 \\ T(0) = T_A \\ \dfrac{\partial T(1)}{\partial x} = q/k \end{cases}$

    - Ecuación convección-difusión

PROBLEMA 7.8.2 $\begin{cases} \alpha \dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2} - U \dfrac{\partial T}{\partial x} = 0 \\ 0 \le x \le 1 \\ T(0) = T_A \\ \dfrac{\partial T(1)}{\partial x} = q/k \end{cases}$

- Esquema Runge Kutta: “Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer”, J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher, Series in Computational and Physical Process in Mechanical and Thermal Sciences , p176-179, p217-220

PROBLEMA 7.9.3 $\begin{cases} \dfrac{\partial u}{\partial t} + u \dfrac{\partial u}{\partial x} = 0 \\ 0 \le x \le 1 \\ u(x,0) = a\sin(2\pi x) \\ u(0,t) = 0 \\ u(1,t) = 0 \end{cases}$

Tema 8

Apuntes “Mecánica de Fluidos”. Primera Parte.

A Liñán, F. Higuera, M. Rodríguez

Capítulo 2.

“Computational methods for Fluid Dynamics”.

J.H. Ferziger y M. Peric, Springer, 3rd Edition.

Capitulo 4.

“An introduction to Computational Fluid Dynamics. The Finite Volumen Method”.

H.K. Versteeg y W. Malalasekera. Longman Group Ltd., 1995.

Capitulo 4, Páginas 85-88

Ejemplo 4.1. Páginas 88-91

Ejemplo 4.2. Páginas 92-95.

Capitulo 4. Sección 4.4. Páginas 99-100.

Capítulo 5. Páginas de 103-106

Capítulo 5. Ejemplo 5.1. Páginas de 106 a 110

“Conduction of Heat in Solids”

Carslaw and Jaeger, Second Edition. Oxford University Press. 1995.
Sección 3.3. Páginas 93-94.

“Error Analysis and Estimation for the Finite Volume method with Applications to Fluid Flows”.

(J. Hrvoje.) PhD Thesis. 1996.
Capítulo 3.

3) Parcial CFD

Fecha y Hora: Sábado, 25 de mayo, 10:00-11:00
Lugar: ETSI Aeronáuticos, Aula 1

Se examinan: Temas 2 – 8.4 inclusive (14 de mayo inclusive)
Este parcial equivale al 40% de la nota de la parte CFD del curso MEF-CFD
Examen tipo test con cuatro opciones, siendo una la correcta.
El valor de cada pregunta será explícito.
Respuestas erróneas se penalizarán con 50% del valor de la pregunta correspondiente

Se requiere: DNI **y** Carnet de la Escuela (ambos)
Se permite: Calculadora no programable
No se permiten libros o apuntes de ningún tipo